การศึกษาระบบควบคุมลำดับโดยทฤษฎีเพทริเน็ต

นาย วรรณวิทย์ กมลเดชเดชา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-228-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Study on Sequence Control System by Petri Net Theory

Mr. Wannawit Kamondajdacha

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-228-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาระบบควบคุมลำดับโดยทฤษฎีเพทริเน็ต
โดย	นายวรรณวิทย์ กมลเดชเดชา
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. จรวย บุญยุบล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

.....กรรมการ
(ดร. ประสิทธิ์ พรศักดิ์สิทธิ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วรรณวิทย์ กมลเดชเดชา : การศึกษาระบบควบคุมลำดับโดยทฤษฎีเพทริเน็ต (A STUDY ON SEQUENCE CONTROL SYSTEM BY PETRI NET THEORY) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ, 114 หน้า. ISBN 974-633-228-7

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาระบบควบคุมลำดับโดยใช้ทฤษฎีเพทริเน็ต งานหลักจะเป็นการออกแบบ พัฒนา และทดสอบเครื่องมือทางซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์สมรรถนะของระบบด้วยวิธีรีชเอบิลิตีทรี ซอฟต์แวร์นี้ถูกพัฒนาบนระบบปฏิบัติการไมโครซอฟต์วินโดวส์ ซึ่งเป็นระบบติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟฟิก ผู้ใช้สามารถสร้างแบบจำลองเพทริเน็ตโดยใช้กราฟฟิกเอดิเตอร์ วิเคราะห์และปรับปรุงระบบที่สร้างขึ้นให้มีประสิทธิภาพได้อย่างรวดเร็ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต วรรณวิทย์ กมลเดชเดชา

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

C615806 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: PETRI NET / SEQUENCE CONTROL / PROGRAMMABLE CONTROLLER

WANNAWIT KAMONDAJDACHA : A STUDY ON SEQUENCE CONTROL SYSTEM BY PETRI NET THEORY, THESIS ADVISOR : SOMBOON CHONGCHAIKIT, D. Ing. 114 pp. ISBN 974-633-228-7

This thesis concerns the study of sequence control system based on Petri Net Theory. Main works are to design develop and test a software tool for modeling and analysis of the performance of system by reachability tree method. This software is developed on Microsoft Windows which is GUI (Graphical User Interface). User can create Petri Net model by using graphic editor. The model can quickly be analysed to improve the efficiency of system.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต วรวุฒิ กมลเดชเดชา
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2538	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อ.ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ ที่กรุณาให้ข้าพเจ้าได้ทดลองใช้เครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ของบริษัท SIEMENS

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ผู้อุปการะให้ทุนการศึกษาและวิจัยแก่ข้าพเจ้าเป็นระยะเวลา 1 ปีเต็ม และขอขอบคุณ คุณนพดล ล้อประเสริฐ ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับ PC ของ SIEMENS

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นสถานที่ทำการวิจัย และขอขอบคุณนิสิตปริญญาโทของห้องปฏิบัติการวัดคุมทางอุตสาหกรรม และ นิสิตปริญญาโทของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบเชิงเลขทุกท่าน ที่ให้ข้อคิดเห็นและกำลังใจตลอดมา

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

วรรณวิทย์ กมลเดชเดชา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญภาพ ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ 1

ความเบื้องต้น 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 2

ขอบเขตการวิจัย 2

ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. ระบบควบคุมลำดับ 4

ความเป็นมา 4

องค์ประกอบของระบบควบคุมลำดับ 5

1. อุปกรณ์ตรวจวัดสถานะ 5

2. หน่วยควบคุมและประมวลผล 6

2.1 วงจรรีเลย์ 6

2.2 วงจรตรรก 6

2.3 สวิตช์ลูกเบี้ยว 6

2.4 ซีเควนเซอร์ 7

2.5 เครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ 7

3. อุปกรณ์ส่งสัญญาณควบคุม 8

การออกแบบระบบควบคุม 9

1. โฟล์วชาร์ต 9

2. แผนภาพแลดเดอร์ 10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3. ฟังก์ชันชาร์ต 11

ตัวอย่างการออกแบบระบบควบคุมลำดับ 12

1. ตัวอย่างการควบคุมเครื่องปั๊มโลหะ 12

2. ตัวอย่างการทำงานของเครื่องจักรประกอบชิ้นงาน 16

3. ทฤษฎีเพทริเน็ต 20

ความเป็นมา 20

นิยามพื้นฐาน 20

1. โครงสร้างเพทริเน็ต 21

2. กฎการทำงานของเพทริเน็ต 22

3. ปริภูมิสถานะของเพทริเน็ต 24

4. การแทนแบบจำลองเพทริเน็ตด้วยเมตริกซ์ 25

คุณสมบัติของเพทริเน็ต 26

1. Safeness 26

2. Boundedness 27

3. Conservation 27

4. Liveness 29

การจำลองระบบด้วยเพทริเน็ต 29

วิธีการวิเคราะห์แบบจำลองเพทริเน็ต 31

1. วิธีการวิเคราะห์โดยใช้วิธีรีชเอบิลิตีทรี 31

2. วิธีการวิเคราะห์โดยใช้สมการเมตริกซ์ 34

ความสัมพันธ์ระหว่างเพทริเน็ตกับฟังก์ชันชาร์ต 36

4. การออกแบบและสร้างซอฟต์แวร์เพทริเน็ต 39

ความนำ 39

แนวความคิดในการออกแบบ 39

1. โครงสร้างของระบบ 39

2. เส้นทางของข้อมูล 41

3. ส่วนแสดงผล 42

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

โครงสร้างข้อมูลของแบบจำลองเพทริเน็ต 43

1. ข้อมูลแบบเพลส 44
2. ข้อมูลแบบทรานซิชัน 44
3. ข้อมูลแบบอาร์ก 45

กราฟฟิกเอดิเตอร์ 46

1. การวาดองค์ประกอบของแบบจำลองเพทริเน็ต 47
2. การแก้ไของค์ประกอบของแบบจำลองเพทริเน็ต 49
3. การลบองค์ประกอบของแบบจำลองเพทริเน็ต 51
4. การจัดการแฟ้มข้อมูล 51

ส่วนวิเคราะห์ 53

1. การแปลงแบบจำลองเพทริเน็ตให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ 53
2. การสร้างรีชเอบิลิตีทรี 54
3. แสดงผลคุณสมบัติของแบบจำลองเพทริเน็ต 56

ส่วนจำลองแบบการทำงานของเพทริเน็ตเชิงโต้ตอบ 57

5. การทดสอบโปรแกรมและผลการทดสอบ 59

ความนำ 59

ระบบควบคุมระดับน้ำ 60

1. การทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำ 61
2. การออกแบบระบบควบคุมระดับน้ำด้วยเพทริเน็ต 61
3. การวิเคราะห์ระบบควบคุมระดับน้ำด้วยเพทริเน็ต 63
4. การทดสอบระบบควบคุมระดับน้ำ 65
5. ผลการทดสอบ 66

ระบบควบคุมสายพานลำเลียง 68

1. การทำงานของระบบควบคุมสายพานลำเลียง 70
2. การออกแบบระบบควบคุมสายพานลำเลียงด้วยเพทริเน็ต 70
3. การวิเคราะห์ระบบควบคุมสายพานลำเลียงด้วยเพทริเน็ต 75
4. การทดสอบระบบควบคุมสายพานลำเลียง 81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5. ผลการทดสอบ 83

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ 89

สรุปผลงาน 89

ข้อเสนอแนะ 90

เอกสารอ้างอิง 91

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ทฤษฎีของแบ็ก 93

ภาคผนวก ข การติดต่อกับผู้ใช้ 97

ประวัติผู้เขียน 114

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ตารางเท็จจริงของสมการที่ (2-1)	10
ตารางที่ 3.1	เหตุการณ์และเงื่อนไขของโรงงาน	30
ตารางที่ 4.1	ความหมายของตัวแปรในแฟ้มข้อมูล	52
ตารางที่ 5.1	การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้กับระบบควบคุมระดับน้ำ	61
ตารางที่ 5.2	เหตุการณ์และเงื่อนไขของระบบควบคุมระดับน้ำ	62
ตารางที่ 5.3	สถานะของอุปกรณ์ในแต่ละเพลส	63
ตารางที่ 5.4	ทรานซิชันในรูปสถานะของอุปกรณ์	63
ตารางที่ 5.5	การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้กับระบบควบคุมสายพานลำเลียง	69
ตารางที่ 5.6	เหตุการณ์และเงื่อนไขของระบบควบคุมสายพานลำเลียงสำหรับถังใบที่ 1.	71
ตารางที่ 5.7	สถานะของอุปกรณ์ในแต่ละเพลส	74
ตารางที่ 5.8	ทรานซิชันในรูปสถานะของอุปกรณ์	74

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	แผนภาพการทำงานของระบบควบคุมลำดับ	5
รูปที่ 2.2	ตัวอย่างสวิตช์วัดความดัน	5
รูปที่ 2.3	ตัวอย่างวงจรรีเลย์	6
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างวงจรตรรก	6
รูปที่ 2.5	การทำงานของสวิตช์ลูกเบี้ยว	7
รูปที่ 2.6	ซีเควนเซอร์	7
รูปที่ 2.7	โครงสร้างของเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้	8
รูปที่ 2.8	รีเลย์แบบแม่เหล็กไฟฟ้า	8
รูปที่ 2.9	ตัวอย่างโฟล์วชาร์ต	9
รูปที่ 2.10	ตัวอย่างแผนภาพแลดเดอร์	10
รูปที่ 2.11	องค์ประกอบในภาษาฟังก์ชันชาร์ต	11
รูปที่ 2.12	การทำงานของเครื่องปั๊ม	13
รูปที่ 2.13	โฟล์วชาร์ตสำหรับการทำงานของเครื่องปั๊ม	14
รูปที่ 2.14	แผนภาพแลดเดอร์สำหรับการทำงานของเครื่องปั๊ม	15
รูปที่ 2.15	ฟังก์ชันชาร์ตสำหรับการทำงานของเครื่องปั๊ม	15
รูปที่ 2.16	การทำงานของเครื่องจักรประกอบชิ้นงาน	16
รูปที่ 2.17	โฟล์วชาร์ตสำหรับการทำงานของเครื่องจักรประกอบชิ้นงาน	17
รูปที่ 2.18	แผนภาพแลดเดอร์สำหรับการทำงานของเครื่องจักรประกอบชิ้นงาน	18
รูปที่ 2.19	ฟังก์ชันชาร์ตสำหรับการทำงานของเครื่องจักรประกอบชิ้นงาน	19
รูปที่ 3.1	องค์ประกอบพื้นฐานของเพทริเน็ต	21
รูปที่ 3.2	แบบจำลองเพทริเน็ต	22
รูปที่ 3.3	ผลลัพธ์จากการยิงของทรานซิชัน t_1	23
รูปที่ 3.4	ผลลัพธ์จากการยิงของทรานซิชัน t_2	24
รูปที่ 3.5	แบบจำลองเพทริเน็ตที่ไม่มีคุณสมบัติ Safeness	26
รูปที่ 3.6	การทำให้แบบจำลองเพทริเน็ตในรูปที่ 3.5 มีคุณสมบัติ Safeness	27
รูปที่ 3.7	แบบจำลองเพทริเน็ตที่มีคุณสมบัติ Conservation	28
รูปที่ 3.8	แบบจำลองเพทริเน็ตที่ไม่มีคุณสมบัติ Conservation	28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.9	แบบจำลองเพทริเน็ตที่ไม่มีคุณสมบัติ Liveness	29
รูปที่ 3.10	แบบจำลองเพทริเน็ตของโรงงาน	31
รูปที่ 3.11	แบบจำลองเพทริเน็ตที่ใช้ในการศึกษาวิธีการวิเคราะห์โดยใช้รีชเอบิลิตีทรี	31
รูปที่ 3.12	การสร้างรีชเอบิลิตีทรีจากรูปที่ 3.11 ในการยิงครั้งแรก	32
รูปที่ 3.13	การสร้างรีชเอบิลิตีทรีจากรูปที่ 3.11 ในการยิงครั้งที่ 3	32
รูปที่ 3.14	ตัวอย่างแบบจำลองเพทริเน็ตในการวิเคราะห์โดยใช้สมการเมตริกซ์	34
รูปที่ 3.15	การแทนรูปทางกราฟฟิกของสเต็ปและเพลส	37
รูปที่ 3.16	การแทนรูปทางกราฟฟิกของเส้นเชื่อมต่อและอาร์ก	37
รูปที่ 3.17	ตัวอย่างการยิงทรานซิชัน	38
รูปที่ 4.1	โครงสร้างของระบบ	40
รูปที่ 4.2	โมดูลสำหรับเขียนแบบจำลองเพทริเน็ต	40
รูปที่ 4.3	โมดูลสำหรับวิเคราะห์แบบจำลองเพทริเน็ต	41
รูปที่ 4.4	โมดูลการจำลองแบบการทำงานของเพทริเน็ตเชิงโต้ตอบ	41
รูปที่ 4.5	เส้นทางของข้อมูล	42
รูปที่ 4.6	ส่วนแสดงผล	43
รูปที่ 4.7	ข้อมูลแบบเพลส	43
รูปที่ 4.8	การเก็บตำแหน่งของเพลส	44
รูปที่ 4.9	ข้อมูลแบบทรานซิชัน	44
รูปที่ 4.10(a)	การเก็บตำแหน่งของทรานซิชันในแนวตั้ง	44
รูปที่ 4.11(b)	การเก็บตำแหน่งของทรานซิชันในแนวนอน	44
รูปที่ 4.12	ข้อมูลแบบอาร์ก	45
รูปที่ 4.13	การเก็บตำแหน่งของอาร์ก	45
รูปที่ 4.14	โครงสร้างข้อมูลของแบบจำลองเพทริเน็ต	46
รูปที่ 4.15	รายการเครื่องมือ	47
รูปที่ 4.16	กล่องเครื่องมือ	47
รูปที่ 4.17	การวาดองค์ประกอบของแบบจำลองเพทริเน็ต	49
รูปที่ 4.18	กรอบข้อความของเพลส	50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.19	กรอบข้อความของอาร์ก	50
รูปที่ 4.20	รูปแบบแฟ้มข้อมูล	51
รูปที่ 4.21	โฟล์วชาร์ตแสดงการทำงานในส่วนวิเคราะห์	53
รูปที่ 4.22	โฟล์วชาร์ตการแปลงแบบจำลองเพทริเน็ตให้อยู่ในรูปเมตริกซ์	54
รูปที่ 4.23	โครงสร้างข้อมูลของรีชเอบิลิตีทรี	54
รูปที่ 4.24	โฟล์วชาร์ตการสร้างรีชเอบิลิตีทรี	55
รูปที่ 4.25	ตัวอย่างรีชเอบิลิตีทรี	56
รูปที่ 4.26	ตัวอย่างคุณสมบัติของแบบจำลองเพทริเน็ต	57
รูปที่ 4.27	โฟล์วชาร์ตการจำลองแบบการทำงานของเพทริเน็ต	58
รูปที่ 5.1	โครงสร้างของระบบที่ใช้ทดสอบ	59
รูปที่ 5.2	ระบบควบคุมระดับน้ำ	60
รูปที่ 5.3	แบบจำลองเพทริเน็ต	62
รูปที่ 5.4	รีชเอบิลิตีทรีของระบบควบคุมระดับน้ำ	63
รูปที่ 5.5	รีชเอเบิลมาร์กกิงของระบบควบคุมระดับน้ำ	64
รูปที่ 5.6	คุณสมบัติของระบบควบคุมระดับน้ำ	64
รูปที่ 5.7	ฟังก์ชันชาร์ตที่แปลงจากแบบจำลองเพทริเน็ตที่ออกแบบ	65
รูปที่ 5.8	ระบบควบคุมระดับน้ำอยู่ในสถานะที่หนึ่ง	66
รูปที่ 5.9	ระบบควบคุมระดับน้ำอยู่ในสถานะที่สอง	67
รูปที่ 5.10	ระบบควบคุมระดับน้ำอยู่ในสถานะที่สาม	67
รูปที่ 5.11	ระบบควบคุมสายพานลำเลียง	68
รูปที่ 5.12	แบบจำลองเพทริเน็ตของระบบควบคุมสายพานลำเลียงสำหรับถังใบที่ 1	72
รูปที่ 5.13	แบบจำลองเพทริเน็ตของระบบควบคุมสายพานลำเลียงสำหรับถัง 2ใบ	73
รูปที่ 5.14	รีชเอเบิลมาร์กกิงของระบบควบคุมสายพานลำเลียง	75
รูปที่ 5.15	รีชเอบิลิตีทรีของระบบควบคุมสายพานลำเลียง	76
รูปที่ 5.16	แบบจำลองเพทริเน็ตที่ถูกปรับปรุงของระบบควบคุมสายพานลำเลียง	78
รูปที่ 5.17	รีชเอเบิลมาร์กกิงของระบบควบคุมสายพานลำเลียงที่ถูกปรับปรุง	79
รูปที่ 5.18	รีชเอบิลิตีทรีของระบบควบคุมสายพานลำเลียงที่ถูกปรับปรุง	80

สารบัญภาพ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 5.19	คุณสมบัติของระบบควบคุมสายพานลำเลียง	81
รูปที่ 5.20	ฟังก์ชันชาร์ตที่ใช้ในระบบควบคุมสายพานลำเลียง	82
รูปที่ 5.21	ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่หนึ่ง	83
รูปที่ 5.22	ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่สอง	84
รูปที่ 5.23	ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่สาม	84
รูปที่ 5.24	ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่สี่	85
รูปที่ 5.25	ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่ห้า	85
รูปที่ 5.26	ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่หก	86
รูปที่ 5.27	ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่เจ็ด	86
รูปที่ 5.28	ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่แปด	87
รูปที่ 5.29	ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่เก้า	88
รูปที่ 5.30	ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่สิบ	88
รูปที่ ข.1	การติดตั้งโปรแกรมจาก Program Manager	98
รูปที่ ข.2	กรอบข้อความสำหรับระบุไดเร็กทรอรีที่จะติดตั้ง	98
รูปที่ ข.3	ไอคอนของ GUIPET ที่ได้หลังจากการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์	99
รูปที่ ข.4	เลือก “New” จากรายการคำสั่งของ “File”	99
รูปที่ ข.5	GUIPET สร้างเพทริเน็ตเอดิเตอร์ใหม่	100
รูปที่ ข.6	ใช้เมาส์ลากเพลสจากกล่องเครื่องมือ	101
รูปที่ ข.7	ปล่อยเพลสบนเพทริเน็ตเอดิเตอร์	101
รูปที่ ข.8	กรอบข้อความสำหรับใส่จำนวนโทเค็นในเพลส	102
รูปที่ ข.9	เพทริเน็ตเอดิเตอร์แสดงจำนวนโทเค็นที่กำหนดในเพลส	102
รูปที่ ข.10	ใช้เมาส์ลากทรานซิชันจากกล่องเครื่องมือ	103
รูปที่ ข.11	ปล่อยทรานซิชันบนเพทริเน็ตเอดิเตอร์	104
รูปที่ ข.12	คลิกขวาที่ทรานซิชัน 1 ครั้ง	104
รูปที่ ข.13	เคลื่อนเมาส์ไปในทิศทางที่ต้องการสร้างอาร์ก	105
รูปที่ ข.14	คลิกเมาส์บนทรานซิชันที่ต้องการเชื่อมต่อ	106
รูปที่ ข.15	ใช้เมาส์คลิกบนองค์ประกอบของเพทริเน็ตที่ต้องการลบ	107

สารบัญภาพ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ ข.16	GUIPET แสดงกรอบข้อความเพื่อยืนยันการลบ	107
รูปที่ ข.17	เลือก "Calculate Reachability" จากรายการคำสั่ง "Analysis"	108
รูปที่ ข.18	เลือก "Show All Reachability Tree" จากรายการคำสั่ง "Analysis"	109
รูปที่ ข.19	ผลการวิเคราะห์ในรูปรีชเอบิลิตีทรี	109
รูปที่ ข.20	เลือก "Show All Reachable Marking" จากรายการคำสั่ง "Analysis"	110
รูปที่ ข.21	ผลการวิเคราะห์ในรูปรีชเอเบิลมาร์กกิงทั้งหมด	111
รูปที่ ข.22	เลือก "Properties" จากรายการคำสั่ง "Analysis"	112
รูปที่ ข.23	ผลการวิเคราะห์ในรูปคุณสมบัติของแบบจำลองเพทริเน็ต	112
รูปที ข.24	เลือก "Start Simulate" จากรายการคำสั่ง "Simulation"	113

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย